

## NONORIENTED SILICON STEEL SHEET EXCELLENT IN CORE LOSS CHARACTERISTICS

**Publication number:** JP9067653 (A)

**Publication date:** 1997-03-11

**Inventor(s):** ODA YOSHIHIKO; HIURA AKIRA; UEI SEISHI; TOMITA KUNIKAZU

**Applicant(s):** NIPPON KOKAN KK

**Classification:**

- **international:** **C22C38/00; C22C38/16; H01F1/16; C22C38/00; C22C38/16; H01F1/12;** (IPC1-7): C22C38/00; C22C38/16; H01F1/16

- **European:**

**Application number:** JP19950220098 19950829

**Priority number(s):** JP19950220098 19950829

### Abstract of JP 9067653 (A)

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To produce a semiprocess silicon steel sheet product and to produce a nonoriented silicon steel sheet excellent in core loss characteristics after the semiprocess product is subjected to magnetic annealing. **SOLUTION:** This nonoriented silicon steel sheet has a composition consisting of by weight,  $\leq 1\%$  Si, 0.1 to 1% Al, 0.1 to 0.8% Mn,  $\leq 0.05\%$  Cu and  $\leq 0.01\%$  S, and in which the size and the number of inclusions contained therein are regulated to those having 0.1 to  $0.5\mu\text{m}$  diameter are 500 to 5000 pieces/mm<sup>2</sup>; and those having  $> 0.5\mu\text{m}$  diameter are  $\leq 500$  pieces/mm<sup>2</sup>; . Preferably, the content of C is regulated to  $\leq 0.005\%$ , P to  $\leq 0.2\%$  and N to  $\leq 0.005\%$  as well.

---

Data supplied from the **esp@cenet** database — Worldwide

(19)日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11)特許出願公開番号

特開平9-67653

(43)公開日 平成9年(1997)3月11日

(51)Int.Cl. <sup>6</sup>	識別記号	庁内整理番号	FI	技術表示箇所
C 2 2 C 38/00	3 0 3		C 2 2 C 38/00	3 0 3 U
38/16			38/16	
H 0 1 F 1/16			H 0 1 F 1/16	A

審査請求 未請求 請求項の数2 OL (全7頁)

(21)出願番号 特願平7-220098

(22)出願日 平成7年(1995)8月29日

(71)出願人 000004123

日本鋼管株式会社

東京都千代田区丸の内一丁目1番2号

(72)発明者 尾田 善彦

東京都千代田区丸の内一丁目1番2号 日

本鋼管株式会社内

(72)発明者 日裏 昭

東京都千代田区丸の内一丁目1番2号 日

本鋼管株式会社内

(72)発明者 上井 清史

東京都千代田区丸の内一丁目1番2号 日

本鋼管株式会社内

(74)代理人 弁理士 細江 利昭

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 鉄損特性の優れた無方向性電磁鋼板

(57)【要約】

【課題】 セミプロセス電磁鋼板製品と、セミプロセス製品を磁性焼鈍した後の鉄損特性の優れた無方向性電磁鋼板を提供する。

【解決手段】 重量%で、Si:1%以下、Al:0.1~1%、Mn:0.1~0.8%、Cu:0.05%以下、S:0.01%以下を含む無方向性電磁鋼板であって、鋼板中に含まれる介在物の大きさおよび個数が、直径0.1~0.5 $\mu$ mの大きさのものが500~5000個/mm<sup>2</sup>、直径0.5 $\mu$ m超えの大きさのものが500個/mm<sup>2</sup>以下である。更に、好ましくはC:0.005%以下、P:0.2%以下、N:0.005%以下とする。

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】重量%で、Si:1%以下、Al:0.1~1%、Mn:0.1~0.8%、を含有し、Cu:0.05%以下、S:0.01%以下である無方向性電磁鋼板であって、鋼板中に含まれる介在物で直径0.1~0.5 $\mu$ mのものが500~5000個/mm<sup>2</sup>、直径0.5 $\mu$ m超えのものが500個/mm<sup>2</sup>以下であることを特徴とする鉄損特性に優れた無方向性電磁鋼板。

【請求項2】重量%で、C:0.005%以下、P:0.2%以下、N:0.005%以下、Si:1%以下、Al:0.1~1%、Mn:0.1~0.8%を含有し、Cu:0.05%以下、S:0.01%以下である無方向性電磁鋼板であって、鋼板中に含まれる介在物で直径0.1~0.5 $\mu$ mのものが500~5000個/mm<sup>2</sup>、直径0.5 $\mu$ m超えのものが500個/mm<sup>2</sup>以下であることを特徴とする鉄損特性に優れた無方向性電磁鋼板。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、鉄損特性の優れた無方向性電磁鋼板に関するものである。

【0002】無方向性電磁鋼板には、鋼板が製鉄所から出荷される際に仕上焼鈍などを施され、最終的な磁気特性を具備しているように製造されたフルプロセス製品と仕上焼鈍後の鋼板を需要家において打抜き加工や剪断加工を行った後に磁性焼鈍を行い、加工歪の除去および結晶粒の粗大化を行って所定の磁気特性を得るように配慮したセミプロセス製品に分けられる。

【0003】本発明は、後者に属するもので、セミプロセス製品を磁性焼鈍した後の鉄損特性の優れた無方向性電磁鋼板を提供するものである。

## 【0004】

【従来の技術】無方向性電磁鋼板は、発電機、電動機、小型変圧器などの電気機器に広範に使用されている。これらの製品に対し最近では、省エネルギーの流れを受けて、電気機器が使用される際のエネルギーを出来るだけ低く抑えたいという要望が強まっており、これまでもまして鉄損の少ない鋼板の供給が求められている。

【0005】一般に、鉄損は使用時の鋼板の結晶粒径が大きくなるほど少なくなることが知られており、磁性焼鈍において結晶粒径を粗大化させることの容易な鋼板が求められている。そうした要望に対して、結晶粒界のピンニングサイトとなりやすい介在物あるいは析出物量を低減することや、鋼板中の介在物もしくは析出物の形状・組成を制御してピンニングサイトとしての機能を失わせる試みが成されている。

【0006】例えば、特開平3-249115号公報では、SiおよびS量に対して特定範囲のMn量にすることにより、凝固過程でのMnSを増大させ、ピンニングサイトとして機能しにくい粗大なMnSとすることが提

案されている。また、特開昭62-199720号公報では、スラブ加熱温度を1150℃以下と低い温度に設定し、MnSの再固溶を防止することによって微細に分散しやすい再析出MnS量を制御する方法が提案されている。さらに、特公昭56-33451号公報では、スラブを特定温度に保持することで、AlNを粗大化して結晶粒の成長に対して無害化を図ることが提案されている。

【0007】一方、特開平1-152239号公報では、鋼板中の酸化物の組成、具体的にはSiO<sub>2</sub>、MnO、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>に対するMnOの比率を低めることによって酸化物の融点を上げ、ピンニングサイトとして機能しやすい微細介在物の分散を防止することが提案されている。また、特公平5-69910号公報では、直径0.5~5 $\mu$ mの酸化物を10~500個/mm<sup>2</sup>残し、これを核としてMnSを凝集析出させ、微細なMnSの析出を減らすことが提案されている。

## 【0008】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら最近では、電気機器の省エネルギー化はもちろんのこと、電磁鋼板およびそれを用いた電気部品の製造過程に対しても省エネルギーが求められており、その中の具体的要望のひとつとして、磁性焼鈍をこれまでよりも低温側・短時間側で実施したいという要望がある。たとえば、従来750℃、2時間の条件で実施されていたものを、730℃、1時間の条件で実施することである。

【0009】こうした場合、本発明者らの実験によれば、上記したような、MnSの粗大化もしくはAlNの粗大化、あるいは酸化物系介在物組成の規定、比較的大きな酸化物の形成とそれによるMnSの吸着だけでは十分に粒成長させることができず、必要な鉄損特性が得られないことが判明している。

【0010】本発明はこうした低温・短時間での結晶粒成長を容易にし、低温・短時間での磁性焼鈍においても鉄損特性の優れた無方向性電磁鋼板を提供することを目的としている。

## 【0011】

【課題を解決するための手段】第1発明は、重量%（以下、同様）で、Si:1%以下、Al:0.1~1%、Mn:0.1~0.8%を含有し、Cu:0.05%以下（0を含む）、S:0.01%以下（0を含む）である無方向性電磁鋼板であって、鋼板中に含まれる介在物で直径0.1~0.5 $\mu$ mのものが500~5000個/mm<sup>2</sup>、直径0.5 $\mu$ m超えのものが500個/mm<sup>2</sup>以下であることを特徴とする鉄損特性に優れた無方向性電磁鋼板である。

【0012】第2発明は、C:0.005%以下、P:0.2%以下、N:0.005%以下、Si:1%以下、Al:0.1~1%、Mn:0.1~0.8%を含有し、Cu:0.05%以下（0を含む）、S:0.0

1%以下(0を含む)である無方向性電磁鋼板であって、鋼板中に含まれる介在物で直径0.1~0.5 $\mu\text{m}$ のものが500~5000個/ $\text{mm}^2$ 、直径0.5 $\mu\text{m}$ 超えのものが500個/ $\text{mm}^2$ 以下であることを特徴とする鉄損特性に優れた無方向性電磁鋼板である。

【0013】(1) 介在物、析出物

本発明で、鋼板中に含まれる介在物の大きさおよび個数を規定した理由について、研究の経緯に沿って基本的な考え方を述べる。

【0014】本発明の介在物とは、鋼板中の硫化物、酸化物、炭化物、窒化物など、あるいはこれらの2元、3元の複合体の全てを示しており、介在物、析出物、晶出物などの全てを含む総称である(以下、明細書の中で、単に介在物と表現する)。

【0015】図3は磁性焼鈍条件と鉄損の関係を示している。鋼板の成分は図中に示したとおりであり、熱延・冷延によって板厚0.5mmにした後、730~760 $^{\circ}\text{C}$ 、2時間の磁性焼鈍を行い、25cmエプスタイン試験(JISC2550)で鉄損(W15/50)を測定している。

【0016】図3から磁性焼鈍温度が750 $^{\circ}\text{C}$ 以上の場合、鉄損が5.0W/kg程度と低いが、わずか20 $^{\circ}\text{C}$ 低い730 $^{\circ}\text{C}$ で磁性焼鈍を行なうと6.6W/kgと急激に高くなることがかかる。この場合の結晶粒径を求めてみると750 $^{\circ}\text{C}$ 以上の磁性焼鈍では40 $\mu\text{m}$ 程度と大きく、730 $^{\circ}\text{C}$ では20 $\mu\text{m}$ 以下と前者の半分以下となっていた。このことから、磁性焼鈍温度が低くなると従来の鋼板では粒成長が急激に抑制されるようになり、その結果として鉄損が高くなるという問題を有することがわかる。

【0017】そこでそうした低温度での粒成長性の阻害要因を調査することを目的として、前記の鋼板中の磁性焼鈍前の介在物の観察を行った。ここで、介在物の大きさと個数の測定観察は、直径0.1 $\mu\text{m}$ までは走査型電子顕微鏡(SEM)を用い、それ以下の直径のものは透過型電子顕微鏡(TEM)を用いて行った。SEM観察は鋼板の断面を直接観察し、TEM観察は抽出レプリカを用いて行った。

【0018】SEM観察の結果、0.2~0.5 $\mu\text{m}$ 程度の $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{AlN}$ 、0.1~1 $\mu\text{m}$ 程度の $\text{MnS}$ が観察された。さらにTEM観察を行ったところ、0.1 $\mu\text{m}$ 未満の $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{MnS}$ は観察されなかったが、数10nm程度のCuSが多数観察された。

【0019】発明者らは、この微細なCuSの析出防止、あるいはCuSの凝集粗大化が、磁性焼鈍時の結晶粒の成長性を促進させ、鉄損を少なくするものと研究を続け、介在物の形態を変えるために、溶鋼の casting 時の冷却速度を変更した試験を行った。

【0020】図4は溶鋼の casting 時の冷却速度と磁性焼鈍(730 $^{\circ}\text{C}$ ・1時間)後の介在物の大きさと個数の関係を示している。用いた試料(板厚0.5mm)の化学組成、冷却速度は図中に示すとおりである。また鉄損も併せて図中に示しているが、冷却速度の大きい鋼Aが4.0W/kg、冷却速度の小さい鋼Bが6.1W/kgとなっており、冷却速度の増大によって鉄損の低下がもたらされることがわかる。

【0021】これらの鋼の介在物分布を比較してみたところ、直径0.5 $\mu\text{m}$ 超の介在物の大きさと個数はほぼ同じであった。一方0.1~0.5 $\mu\text{m}$ の介在物の個数には差異が認められ、 casting 時の冷却速度が速くW15/50が4.0W/kgと低い鋼Aの方が、鋼Bに比べて多量の介在物が認められた。さらに、CuSの形態を観察すると、 casting 時の冷却速度が速い鋼AにはCuSがあまり観察されなかったのに対し、 casting 時の冷却速度が遅くW15/50が6.1W/kgと高い鋼Bには、数10nm程度の非常に微細なCuSが多数認められた。

【0022】さらに鉄損が少なく冷却速度が速い鋼板Aについて、CuおよびSの形態観察を行った結果、CuおよびSは0.1~0.5 $\mu\text{m}$ の介在物として、 $\text{MnO-MnS-CuS}$ となっていることが判明した。すなわち、微細なCuSが減少し、0.1~0.5 $\mu\text{m}$ の介在物が増加した理由は、CuSが $\text{MnO-MnS}$ を核に凝集粗大化したものと推定できる。

【0023】以上のことから、CuSの悪影響を低減し、優れた鉄損特性を確保するためには、直径0.1~0.5 $\mu\text{m}$ の介在物を適量、存在させ、微細なCuSを減少すべきとの知見を得た。

【0024】次いで、直径0.1~0.5 $\mu\text{m}$ の介在物の個数の適正範囲について検討を行なった。

【0025】図1は直径0.1~0.5 $\mu\text{m}$ の介在物の個数と鉄損の関係を示している。ここで用いた試料は、表1に示した鋼板成分の2および6を用い、 casting 時の冷却速度を変化させ、仕上焼鈍後の直径0.1~0.5 $\mu\text{m}$ の介在物の個数を調整したものである。

【0026】

【表1】

鋼板	C	Si	Mn	P	S	Cu	Al	N	O	備考
1	0.0020	0.25	0.21	0.100	0.004	0.011	0.10	0.0020	0.0032	本発明鋼
2	0.0025	0.35	0.45	0.172	0.005	0.010	0.11	0.0022	0.0033	本発明鋼
3	0.0030	0.35	0.50	0.100	0.002	0.030	0.50	0.0023	0.0028	本発明鋼
4	0.0022	0.25	0.30	0.098	0.002	0.012	0.95	0.0032	0.0022	本発明鋼
5	0.0033	0.50	0.35	0.097	0.006	0.012	0.50	0.0024	0.0023	本発明鋼
6	0.0040	0.72	0.60	0.125	0.003	0.011	0.32	0.0026	0.0026	本発明鋼
7	0.0032	0.97	0.65	0.130	0.005	0.010	0.23	0.0018	0.0027	本発明鋼
8	0.0057	0.32	0.42	0.112	0.005	0.009	0.16	0.0026	0.0035	本発明鋼
9	0.0036	0.33	0.42	0.100	0.005	0.007	0.13	0.0056	0.0033	本発明鋼
10	0.0040	0.30	0.52	0.250	0.003	0.010	0.12	0.0026	0.0032	本発明鋼
11	0.0032	1.22	0.41	0.105	0.003	0.011	0.15	0.0021	0.0031	比較鋼
12	0.0033	0.35	0.50	0.120	0.004	0.011	1.35	0.0017	0.0025	比較鋼
13	0.0026	0.29	0.41	0.098	0.018	0.009	0.16	0.0021	0.0036	比較鋼
14	0.0021	0.35	0.04	0.105	0.003	0.012	0.16	0.0024	0.0033	比較鋼
15	0.0023	0.30	0.95	0.098	0.002	0.013	0.17	0.0026	0.0034	比較鋼
16	0.0021	0.31	0.55	0.101	0.002	0.062	0.18	0.0018	0.0033	比較鋼

【0027】表1に表示しない残部はFe及び不可避免不純物である。鋼板の板厚は0.5mmで、鋼板中に含まれる0.5 $\mu$ m超えの介在物の個数は110～240個であり、鉄損W15/50の値は730℃・1時間の磁性焼鈍後のものである。

【0028】図1から明らかなように、鉄損に対して直径0.1～0.5 $\mu$ mの介在物の個数が大きく影響を及ぼしていることが明らかであり、適性な領域が存在すること、それらの値は、500～5000個/mm<sup>2</sup>、好ましくは1000～3000個/mm<sup>2</sup>の範囲とすべきことがわかる。直径0.1～0.5 $\mu$ mの介在物の個数が500個/mm<sup>2</sup>未満の場合は10mm程度の非常に微細なCuSが多数析出しており、これにより磁性焼鈍時の粒成長が阻害され、劣化したものとする。一方、直径0.1～0.5 $\mu$ mの介在物の個数が500～5000個/mm<sup>2</sup>の場合は10mm程度の非常に微細なCuSは見当たらず、0.1～0.5 $\mu$ m程度のMnS-MnO-CuSが多数認められた。従来、0.1～0.5 $\mu$ m程度の細かい介在物が多数存在すると、結晶粒の成長を阻害すると考えられていたが、本発明の範囲内に介在物の大きさ、個数を制御することにより、10nm程度の非常に微細なCuSが減少し、従来の鋼板よりも優れた鉄損特性の無方向性電磁鋼板が得られることがわかった。また直径0.1～0.5 $\mu$ mの介在物の個数が5000個/mm<sup>2</sup>を超えると鉄損が高くなる傾向にあるが、これは介在物の個数が多くなり、それらの中でピンニングサイトとして機能するものが多くなるためと考えられる。ここで、0.1～0.5 $\mu$ mの介在物の組成は特に規定しない。CuSの凝集粗大化の図れるものであれば、どのような介在物でもよい。

【0029】次に、直径0.5 $\mu$ m超えの介在物の個数の適正範囲について述べる。図2は、直径0.5 $\mu$ m超えの介在物の個数と鉄損の関係を示している。本図は、表1に示した鋼板の2および7を用い、鋳造前の溶鋼の脱ガス時間を変化させて、仕上焼鈍後の0.5 $\mu$ m超えの介在物の個数を調整して得られたものである。また、鋳造時の冷却速度を変化させて、0.1～0.5 $\mu$ mの

介在物の個数を発明の範囲内に調整している。表1に表示しない残部はFe及び不可避免不純物である。また、鋼板の板厚は0.5mmで、鉄損W15/50の値は730℃・1時間の磁性焼鈍後のものである。

【0030】図2から、直径0.5 $\mu$ m超えの介在物の個数が500個/mm<sup>2</sup>以下になるとW15/50が低くなる傾向が認められ、300個/mm<sup>2</sup>以下の範囲とすれば安定して低い鉄損が得られるようになることがわかる。500個/mm<sup>2</sup>を超えると、W15/50が高くなる。この原因は、磁壁の移動が妨げられ、ヒステリシス損が増大し、それに起因して鉄損が多くなるものと推定する。

【0031】このことから、直径0.5 $\mu$ m超えの介在物の個数を500個/mm<sup>2</sup>以下に、好ましくは、300個/mm<sup>2</sup>以下と規定する。

【0032】(2)成分

Cuは、CuSを形成し有害な成分である。0.05%を超えた場合、介在物の大きさ、個数が本発明の範囲内であっても、微細なCuSの生成を防止することができないため、0.05%以下とする。

【0033】Sは、MnS、CuSなど有害成分となる硫化物を形成する。かつ赤熱脆性の発生の原因となるので0.01%以下とする。

【0034】Siは、鋼板の固有抵抗を上げ、鉄損を少なくするのに有効な成分であるが、1%を超えると磁束密度が低下するため上限を1%とする。

【0035】Alは、少量添加した場合には、微細なAlNを形成し、結晶粒の成長を阻害し、鉄損を多くする。そのために0.1%以上を添加する。この場合には、AlNは粗大化し、結晶粒の成長を阻害せず、かつ固有抵抗を上昇させ、もって鉄損を少なくする。一方、1%を超えては、磁束密度を低下させる。ゆえに、0.1～1%とする。

【0036】Mnは、鋼板の固有抵抗を上げて鉄損を少なくするのに有効な成分であり、かつ熱間圧延時の赤熱脆性を防止するために0.1%以上とする。また、0.8%を超えると磁束密度が低下するため、0.1～0.

8%とする。

【0037】更に、より優れた鉄損特性の無方向性電磁鋼板を得るために、Cは、鉄損を多くする有害な成分で、Cの析出による磁気時効の原因となるので0.005%以下とする。

【0038】Pは、鋼板の打ち抜き性を改善するために必要な成分であるが、0.2%を超えて添加すると鋼板が脆くなるので0.2%以下とする。

【0039】Nは、焼鈍時の結晶粒の成長を阻害するAlNが多くなり、鉄損を多くするので0.005%以下とする。

【0040】なお、本発明では、Sb、Sn、B、Zrを磁気特性向上のために添加することは何らさしつかえない。

#### 【0041】(3) 製造方法

鋼板中の0.1~0.5 $\mu$ mの介在物の大きさ、個数の調整のために、溶鋼の鋳造の鋳造凝固時の冷却速度を10℃/秒から30℃/秒とする。この冷却速度を確保するために、鋳片の厚みを薄くするとか、冷却スプレーの強化などを実施する。

【0042】鋼板中の0.5 $\mu$ m超えの介在物の大きさ、個数の調整のために、溶鋼の鋳造前の脱ガス処理を10分以上実施するか、あるいは鋳造中の溶鋼の流れの調整、鋳造中の電磁攪拌の調整で実施する。

【0043】また、Cuの少ない原料、副原料を用いて精錬することが好ましい。Sについても溶銑の脱硫、取

鋼精錬などで脱Sするか、Sの少ない原料、副原料を用いて精錬することが好ましい。

【0044】このような転炉または電気炉で得た溶鋼を、造塊鋳造または連続鋳造し、熱間加工を行う。熱間加工は、分塊圧延、粗圧延、仕上熱延の内、仕上熱延は必須であるが、分塊圧延、粗圧延は鋳造後の鋼塊、鋼片、鋳造板などの厚さ寸法、リジング抑制などにより選択する。

【0045】熱間圧延後の熱延板焼鈍は行ってもよいが必須ではない。次いで、一回の冷間圧延、もしくは中間焼鈍をはさんだ2回以上の冷間圧延により所定の板厚とした後に、仕上焼鈍を実施する。

【0046】さらに、打抜き加工や剪断加工後に磁性焼鈍を行うことで、磁性焼鈍後の鉄損特性の優れた無方向性電磁鋼板を製造する。

#### 【0047】

【実施例】表1は鋼板の成分で、表示しない残部はFe及び不可避不純物である。

【0048】表2は溶鋼の鋳造前の脱ガス処理時間、溶鋼の鋳造の鋳造凝固時の冷却速度、仕上焼鈍条件、磁性焼鈍条件と、介在物の大きさと個数と、鉄損W15/50と磁束密度B50を25cmエプスタイン試験(JISC2550)で、鋼板の長手方向と幅方向に測定した平均値の結果を表示している。

#### 【0049】

【表2】

番号	鋼板	脱ガス 時間*1(min)	冷却速度*2 (℃/sec)	仕上焼鈍温度 (℃) × 2min	0.5 $\mu$ m超の介在 物個数(個/mm <sup>2</sup> )	0.1~0.5 $\mu$ mの介 在物個数(個/mm <sup>2</sup> )	磁性焼鈍 条件	鉄損 W15/50(W/kg)	B50(T)	備考
1	1	11	15	720	300	1050	730℃×1hr	4.20	1.75	本発明
2		11	2	720	310	360	730℃×1hr	6.14	1.75	0.1~0.5 $\mu$ mの介在物外れ
3	2	20	13	710	125	1850	730℃×1hr	4.07	1.74	本発明
4		20	13	710	125	1850	750℃×1hr	3.96	1.73	本発明
5		20	13	710	125	1850	750℃×2hr	3.85	1.73	本発明
6		20	15	710	127	3550	730℃×1hr	4.26	1.73	本発明
7		8	17	710	610	2000	730℃×1hr	5.20	1.74	0.5 $\mu$ m超の介在物外れ
8		16	2	720	135	210	730℃×1hr	6.12	1.74	0.1~0.5 $\mu$ mの介在物外れ
9		16	2	720	135	298	750℃×2hr	5.02	1.74	0.1~0.5 $\mu$ mの介在物外れ
10		15	40	730	263	7530	730℃×1hr	6.03	1.73	0.1~0.5 $\mu$ mの介在物外れ
11	3	15	10	730	273	692	730℃×1hr	3.50	1.72	本発明
12	4	15	15	730	250	1100	730℃×1hr	3.46	1.72	本発明
13	5	15	16	735	263	2862	730℃×1hr	3.52	1.72	本発明
14	6	15	20	730	290	2054	730℃×1hr	3.40	1.72	本発明
15		15	3	720	273	210	730℃×1hr	4.79	1.72	0.1~0.5 $\mu$ mの介在物外れ
16		10	21	720	410	2960	730℃×1hr	3.61	1.72	本発明
17		8	15	720	720	1850	730℃×1hr	4.32	1.70	0.5 $\mu$ m超の介在物外れ
18	7	11	14	730	289	1120	730℃×1hr	3.40	1.71	本発明
19		11	14	730	289	1120	750℃×2hr	3.25	1.71	本発明
20	8	13	15	710	260	1365	730℃×1hr	4.31	1.74	本発明
21	9	13	14	710	275	1300	730℃×1hr	4.35	1.74	本発明
22	10	13	15	720	298	1056	730℃×1hr	4.30	1.74	本発明
23	11	13	15	730	260	1150	730℃×1hr	3.35	1.67	Si量外れ
24	12	13	15	730	210	1250	730℃×1hr	3.36	1.66	Al量外れ
25	13	10	25	710	450	4526	730℃×1hr	6.59	1.73	S量外れ
26	14	12	20	710	368	3920	730℃×1hr	6.62	1.74	Mn量外れ
27	15	13	16	710	320	1560	730℃×1hr	4.36	1.70	Mn量外れ
28	16	20	15	710	113	2050	730℃×1hr	6.23	1.74	Cu量外れ

\*1: 脱酸後の還流時間

\*2: 鋳片中心部の冷却速度

磁気特性: エプスタイン(L+C)/2

【0050】熱間圧延で板厚2mmの鋼板を得て、酸洗し、次いで、板厚0.5mmまで冷間圧延し、表2の仕上焼鈍と磁性焼鈍を行った。

【0051】表2に示すように、本発明の鋼板は、磁性焼鈍が低温度でかつ短時間であっても、高い磁束密度を維持しつつ鉄損の少ない鋼板が得られている。

【0052】なお、直径0.1~0.5 $\mu$ mの介在物の個数が500個/mm<sup>2</sup>未満の比較例の鋼板のSEM観察、TEM観察の結果では、10nm程度の非常に微細なCuSが多数観察された。これにより、磁性焼鈍時の結晶粒の成長が阻害され、鉄損が多くなっていたと推定される。

【0053】また、直径0.1~0.5 $\mu$ mの介在物の個数が5000個/mm<sup>2</sup>超えの比較例の鋼板のSEM観察、TEM観察の結果では、10nm程度の非常に微細なCuSは認められなかった。これにより、微細なCuSの悪影響は無いが、0.1~0.5 $\mu$ mの介在物の個数が多いために磁性焼鈍時の結晶粒の成長が阻害され、鉄損が多くなっていたと推定される。

【0054】

【発明の効果】本発明は、鋼板中の介在物の大きさ、個数を規定することで、磁性焼鈍が低い温度で短かい時間でも結晶粒の成長が図れ、鉄損特性の優れた無方向性電磁鋼板が得られた。

【図面の簡単な説明】

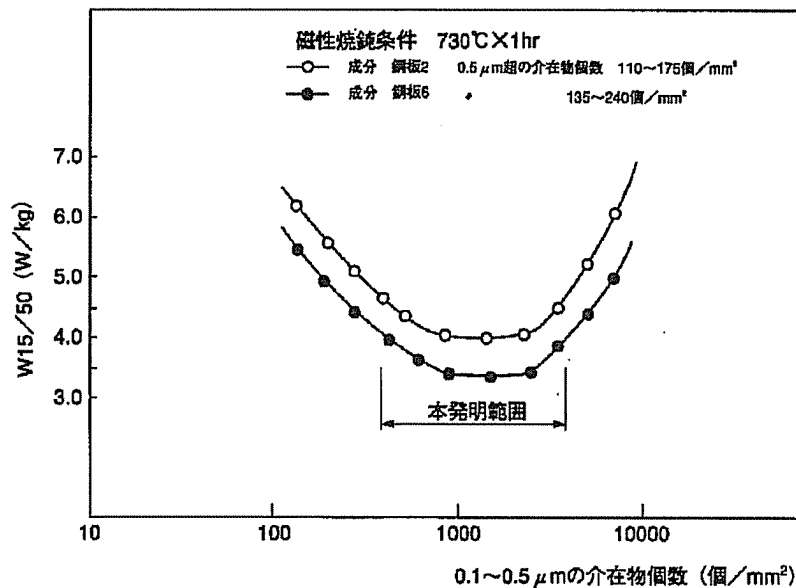
【図1】直径0.1~0.5 $\mu$ mの介在物の個数と鉄損の関係を示す図である。

【図2】直径0.5 $\mu$ m超えの介在物の個数と鉄損の関係を示す図である。

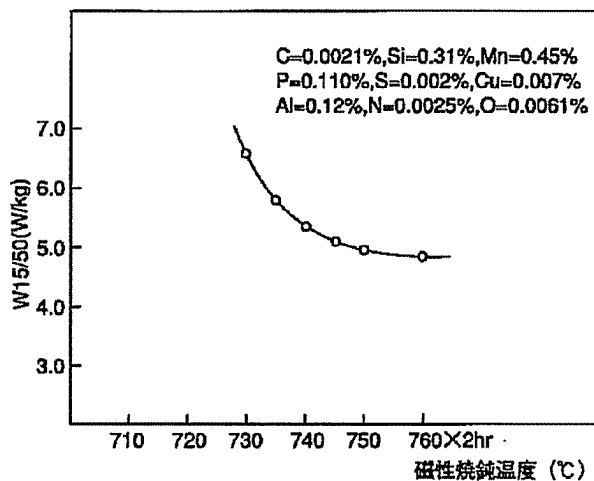
【図3】磁性焼鈍条件と鉄損の関係を示す図である。

【図4】溶鋼の casting 時の冷却速度と介在物の大きさと個数の関係を示す図である。

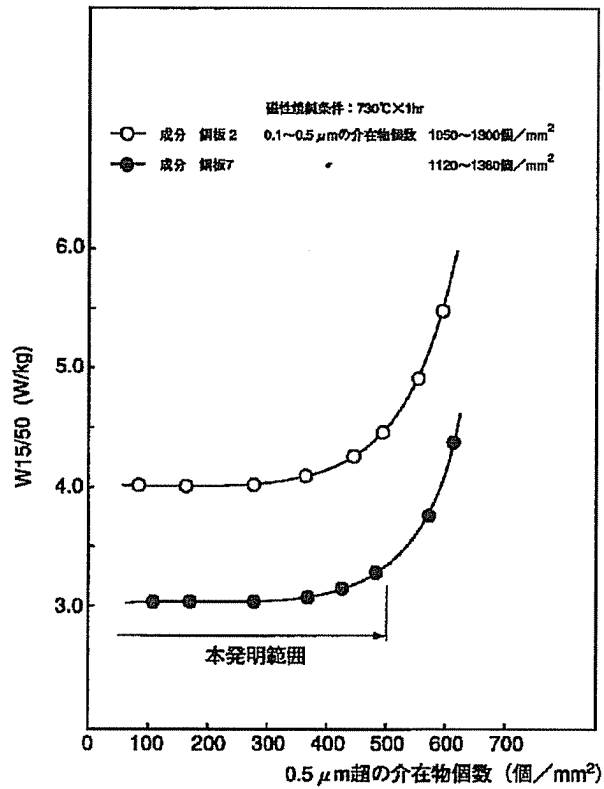
【図1】



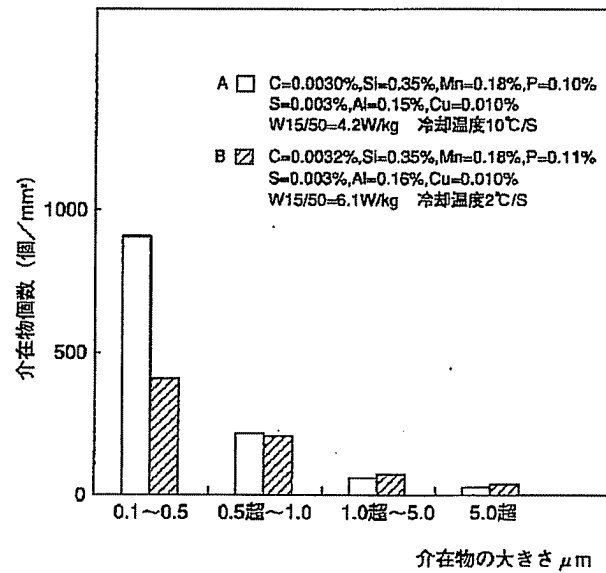
【図3】



【図2】



【図4】



フロントページの続き

(72)発明者 富田 邦和

東京都千代田区丸の内一丁目1番2号 日

本鋼管株式会社内